© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Biodiversität des Makrozoobenthos der österreichischen Donau unter Berücksichtigung quantitativer Befunde der Freien Fließstrecke unterhalb Wiens

C. Fesl, U.H. Humpesch & E.R. Wöss

Abstract: Biodiversity of the macrozoobenthos of the Austrian Danube, including quantitative studies in a free-flowing stretch below Vienna. The Austrian part of the Danube is alpine in character, but only two unimpeded free-flowing stretches of the river remain – the Wachau region above Vienna, and the section below Vienna down to the Austrian border at river-km 1874. The latter section contains 310 species of macroinvertebrates, of which 58 species have not been found in other parts of the river upstream. For conservation of the rarer species of macroinvertebrates, the preservation of their natural habitat is vital; it is therefore important to preserve the unimpeded nature of the river below Vienna. Because the river is directly connected to its riverside forests and backwaters, an exchange of fauna can occur, thereby promoting a potential increase in biodiversity.

In the main channel of the free-flowing section downstream of Vienna, the macroinvertebrate community was investigated in terms of biodiversity, spatial resource utilisation and persistence over a period of one year. Oligochaetes and chironomids accounted for 95 % of the total numbers of macroinvertebrates, the remaining five percent belonged to the Crustacea, Trichoptera, Bivalvia, Gastropoda, Bryozoa, Ephemeroptera and Hirudinea. Three species of bryozoans were recorded based on colony findings, and *Fredericella sultana* was most abundant. An analysis of the relationship between nine attributes of the communities and six environmental factors indicates that habitat stability expressed as sediment turnover was the major factor. Lower sediment turnover near the riverbanks coincided with increased densities and decreased species turnover. Highest values for species richness and total abundance occurred at a riverbank site of intermediate stability and greatest sediment heterogeneity, suggesting that the communities were structured by a combination of several factors.

More studies are needed on the ecological relationship between native and recent invasive species, and the manner in which the latter may or will affect the current structures of communities within the river fauna.

Key words: Large river, sampling devices, invaders, biodiversity, bryozoan settlement, habitat stability.

Einleitung

Die Donau ist mit ihrer Länge von ca. 2.850 km der zweitgrößte Fluss Europas. Sie entspringt im Schwarzwald (Deutschland) und mündet in das Schwarze Meer (Rumänien, Ukraine), in ihrem Einzugsgebiet liegen noch 12 weitere Länder: die Schweiz, Österreich, Tschechische Republik, Slowakei, Ungarn, Slowenien, Kroatien, Bosnien/Herzegowina, Serbien/Montenegro, Albanien, Bulgarien und Moldawien (Abb. 1). In dem Einzugsgebiet von ca. 805.200 km² leben rund 90 Millionen Menschen, diese Zahlen unterstreichen die ungeheure internationale Bedeutung dieses Flusses.

Die österreichische Donau hat eine Länge von ungefähr 351 km und ein durchschnittliches Gefälle von 40 cm pro Kilometer. Wie alle Gebirgsflüsse, so hat auch die Donau in der österreichischen Stromstrecke im Verlauf der Geschichte mannigfaltige Änderungen des Längs- und Querprofils erfahren. Die systematische Regulierungstätigkeit begann im vorletzten Jahrhundert und hatte einen schrittweisen Übergang vom Naturstrom zum gebändig-

Denisia 16, zugleich Kataloge der OÖ. Landesmuseen Neue Serie 28 (2005), 139–158

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

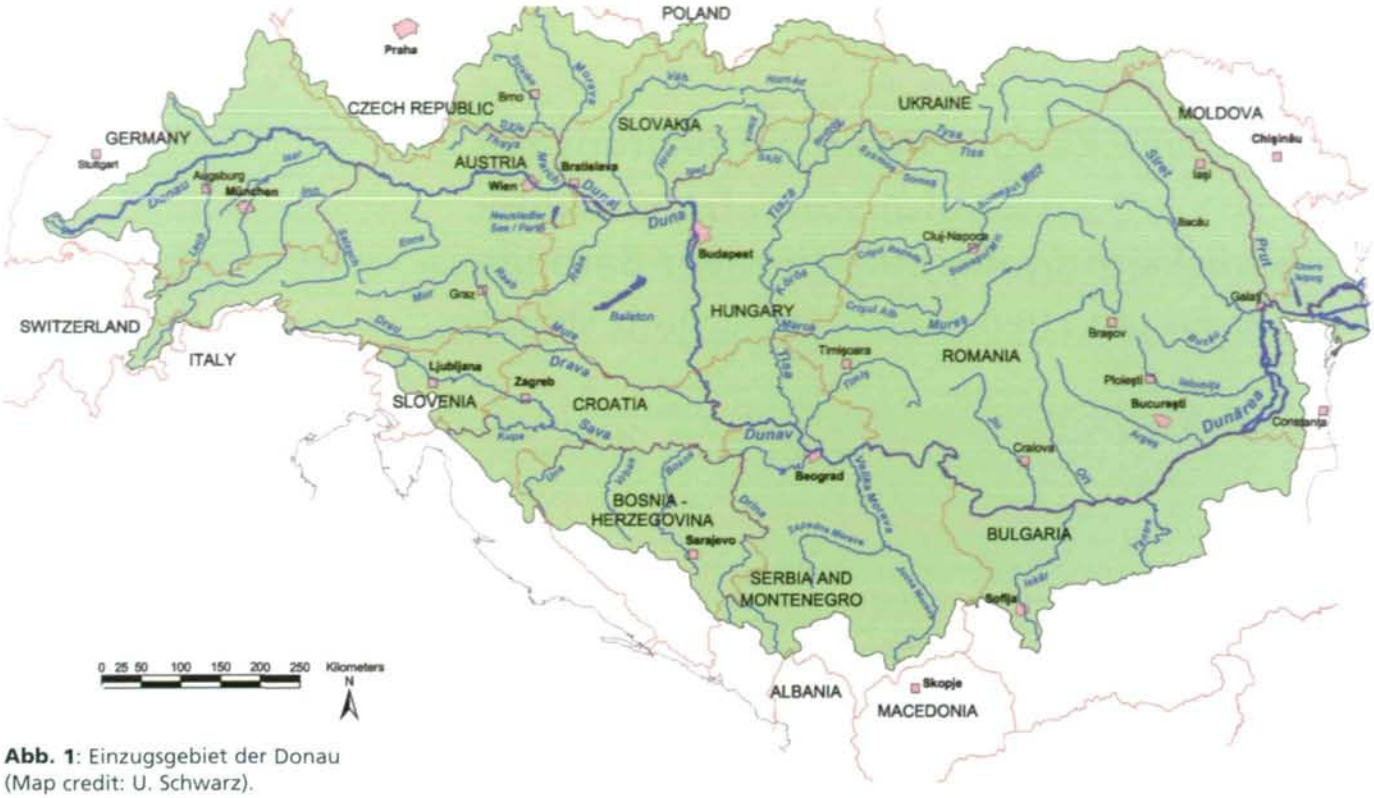
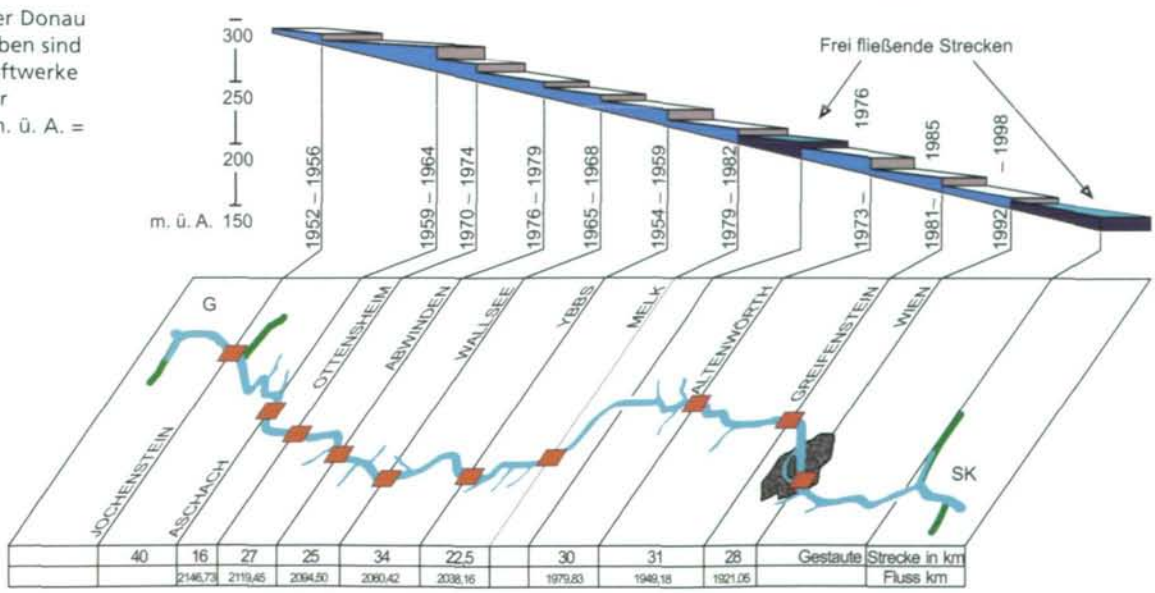


Abb. 1: Einzugsgebiet der Donau (Map credit: U. Schwarz).

ten, schiffbaren Strom zur Folge. Insgesamt gesehen können drei Phasen in der Entwicklungsgeschichte der Donau in Österreich im Laufe des letzten Jahrtausends unterschieden werden: die frühen Jahrhunderte bis zum Beginn der großen Regulierungen um 1850, die Zeit danach bis zum Bau der ersten Staustufen in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts, und die vergangenen Jahrzehnte mit dem Stromausbau zur Kraftwasserstraße (Abb. 2). Heute sind Freie Fließstrecken der Donau nur in der Wachau, zwischen der Wehranlage der Staustufe Melk (Strkm 2038,16) und dem Ende des Rückstauraumes der Staustufe Altenwörth bei Strkm 2014, und östlich der Wehranlage der Staustufe Wien (Strkm 1921,05) erhalten geblieben.

Die meisten der gängigen Theorien und Konzepte im Bereich der Ökologie von Fließgewässern, die sich auf benthische – bodenbewohnende – Invertebraten beziehen, beruhen auf Studien kleiner Bäche, während Untersuchungen großer Flüsse, vor

Abb. 2: Staustufen der Donau in Österreich, angegeben sind die Bauzeiten der Kraftwerke (■) und die Länge der gestauten Strecken; m. ü. A. = Meter über Adria.



© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

allem auf Grund methodischer Schwierigkeiten, lange Zeit eine untergeordnete Rolle spielten. In dieser Hinsicht bietet die Donau in Österreich eine hervorragende Möglichkeit wissenschaftliche Hypothesen an einem großen Fließgewässer zu überprüfen oder neu zu formulieren.

Das Hauptinteresse der vorliegenden Bearbeitung liegt in der Untersuchung der Biodiversität, d.h. der Anzahl der Arten und deren relative Anteile an der Lebensgemeinschaft, sowie ihrer steuernden Umweltfaktoren. Die Biodiversität selbst ist in der Ökologie von fundamentaler Bedeutung, da sie der Frage nachgeht, warum manche Arten häufig, manche selten sind, und welchen Einfluss deren Anteile an der Struktur und Funktion der gesamten Lebensgemeinschaft darstellen.

Allgemeine Sammelmethoden

Die meisten der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Geräte wurden bereits von anderen Autoren beschrieben (siehe HUMPESCH & ELLIOTT 1990). Für die biologische Besammlung der Donau, für die ein entsprechend ausgerüstetes Schiff vorhanden sein muss (Abb. 3), wurden diese Geräte allerdings den Gegebenheiten im Fluss – Tiefe, Bodenbeschaffenheit, Strömung – angepasst und daher verändert. Die Sammelgeräte sind in Abbildung 4 exemplarisch zusammengefasst. Die Abbildung zeigt auch in welchen Flussabschnitten – Freie Fließstrecke oder Stau – die Geräte verwendet wurden.

Für qualitative Aufsammlungen, Aufsammlungen also, deren Ergebnis auf eine Artenliste, auf die Schätzung relativer Abundanzen und die Berechnung einiger „Community" oder biotischer Indices, die auf einer Rangordnung oder der Feststellung der Diversität basieren, beschränkt ist, kamen die folgenden Geräte zum Einsatz (Abb. 4, 5):

- Fast Dredge (Abb. 4d, 5a, b),
- Air-Liftsammelgerät (Abb. 5c, d),
- Bodensauger für die Bodenfauna (Abb. 4c),
- Besiedlungssammelgerät für die Fauna des Bodens und der Ufer (Abb. 4g) und
- ein automatisches, kontinuierlich messendes Driftgerät (Abb. 4a) für im freien Wasser treibende wirbellose Tiere.

Abb. 3: Untersuchungsschiff auf der Donau (v. r. Messschiff, Zugschiff, Untersuchungsschiff).

Für quantitative Aufsammlungen, Aufsammlungen also, deren Ergebnis die Schätzung der Anzahl oder der Biomasse der Pflanzen und Tiere pro Flächeneinheit ist, um die räumliche und zeitliche Verteilung der Lebewesen zu erfassen und darüber hinaus über parametrische Tests auch geringfügige Veränderungen der Wasserqualität festzustellen und Wachstums-, Reproduktions- und Sterberaten berechnen zu können, eigneten sich die folgenden Geräte:

für die Freiwasserzone
- Deck-Inkubator für das Phytoplankton,
- Schindler-Planktonschöpfer (Abb. 4b) für das Phyto- und Zooplankton.

für die Bodenzone – grobe Sedimente
- Stickstoff-Gefriercorer (Abb. 4f, 5i-m) für die Bodenfauna der seichten und tiefen Stellen,
- Petersen-Greifer (Abb. 4e, 5e-h) für die Bodenfauna der tiefen Stellen,
- Besiedlungssammelgerät für die Bodenfauna der seichten und tiefen Stellen.

für die Bodenfauna – feine Sedimente
- „RINIMUCO"-Multicorer (Abb. 4h) für die Bodenfauna der seichten und tiefen Stellen.

für die Ufer
- Echomessgerät für Makrophyten.
- „Box"-Aufsammelgerät für die epiphytisch und
- Besiedlungssammelgerät (Abb. 4i) für die epilithisch lebenden wirbellosen Tiere.

Die Grundlage für diese Empfehlungen ist die Erfahrung, die während der langjährigen Aufsammlungstätigkeit in der Donau gemacht wurde.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

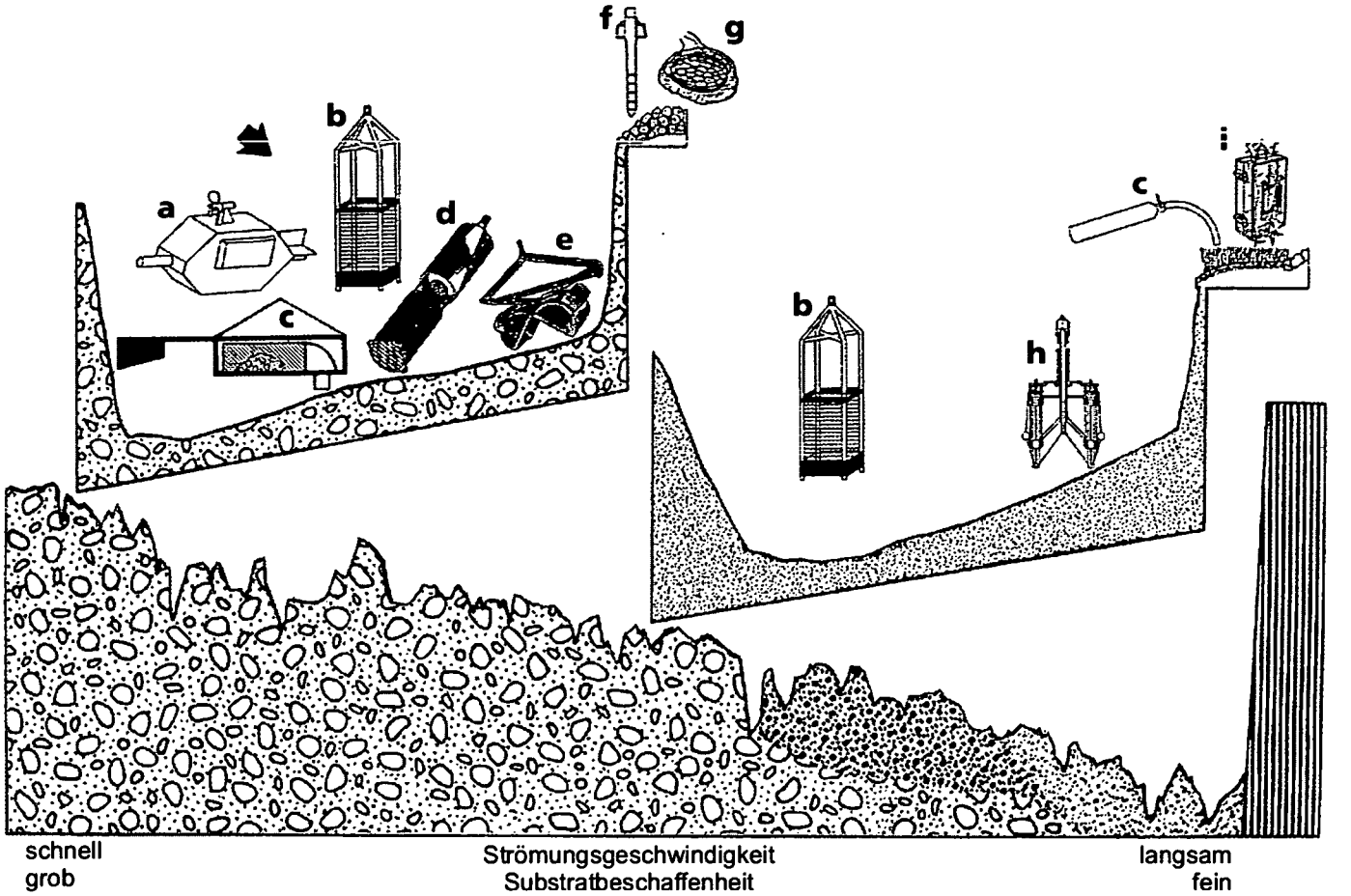


Abb. 4: Schematische Übersicht über Probennahmegeräte für die Flora und Fauna der Donau. **a**: Driftsammelgerät; **b**: Schindler-Planktonschöpfer; **c**: Bodensauger; **d**: Fast Dredge; **e**: Petersen-Greifer; **f**: Stickstoff-Gefriercorer; **g**: Kolonisationssammelgerät; **h**: RINIMUCO-Multicorer; **i**: „Box"-Sammelgerät. Der Pfeil gibt die Strömungsrichtung an.

Spezielle Sammelmethoden für das Makrozoobenthos

Qualitative Aufsammlungen

- Fast – Bodendredge (Abb. 4d, 5a, b): Die Dredge ist 41 kg schwer und wird von einem Schiff aus gegen die Strömung über den Flussboden gezogen. Gitter verschiedener Maschenweiten verhindern, dass größere Steine in das Netz gelangen, in dem die Bodentiere gefangen werden, die auf der Flusssohle leben.
- Air-Lift – Sammelgerät (Abb. 5c, d): Die Funktionsweise basiert auf dem Prinzip, dass ein vertikales Rohr im Wasser auf den Flussboden aufgesetzt wird und Luft in das Rohr gepumpt wird. Das Gemisch aus Luft und Flusswasser, inklusive der Bodenteile mit den darauf lebenden Bodenorganismen, steigt deshalb auf, weil dieses spezifische Gewicht geringer ist als das Wasser, das das Rohr umgibt.

Der Vorteil der beiden Geräte ist, dass in relativ kurzer Zeit große Flächen des Flussbodens mit seinen unterschiedlichen Habitaten besammelt werden können. Das Ergebnis ist dann eine relativ vollständige Faunenliste.

Quantitative Aufsammlungen (Anzahl der Tiere pro Flächeneinheit)

- Petersen-Greifer (in der modifizierten Form von R. Niederreiter; Abb. 4e, 5e-h): Der Greifer wiegt 45 kg, zusätzliche Gewichte können angebracht werden, und besammelt eine Fläche von 0.062 m^2 bis in eine Bodentiefe von ca. 7 cm. Der Greifer besteht im Wesentlichen aus einem offen gehaltenen Schaufelpaar, deren Fixierung sich beim Aufsetzen auf den Flussboden über einen Mechanismus löst und die sich beim Herausziehen des Greifers schließen. So wird das von den Schaufeln eingeschlossene Material, Schottersedimente inkl. Organismen, aus dem Wasser an Bord gebracht. Dabei verhindert eine zweite Schaufel, dass, wenn sich das Schaufelpaar infolge eines klem-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

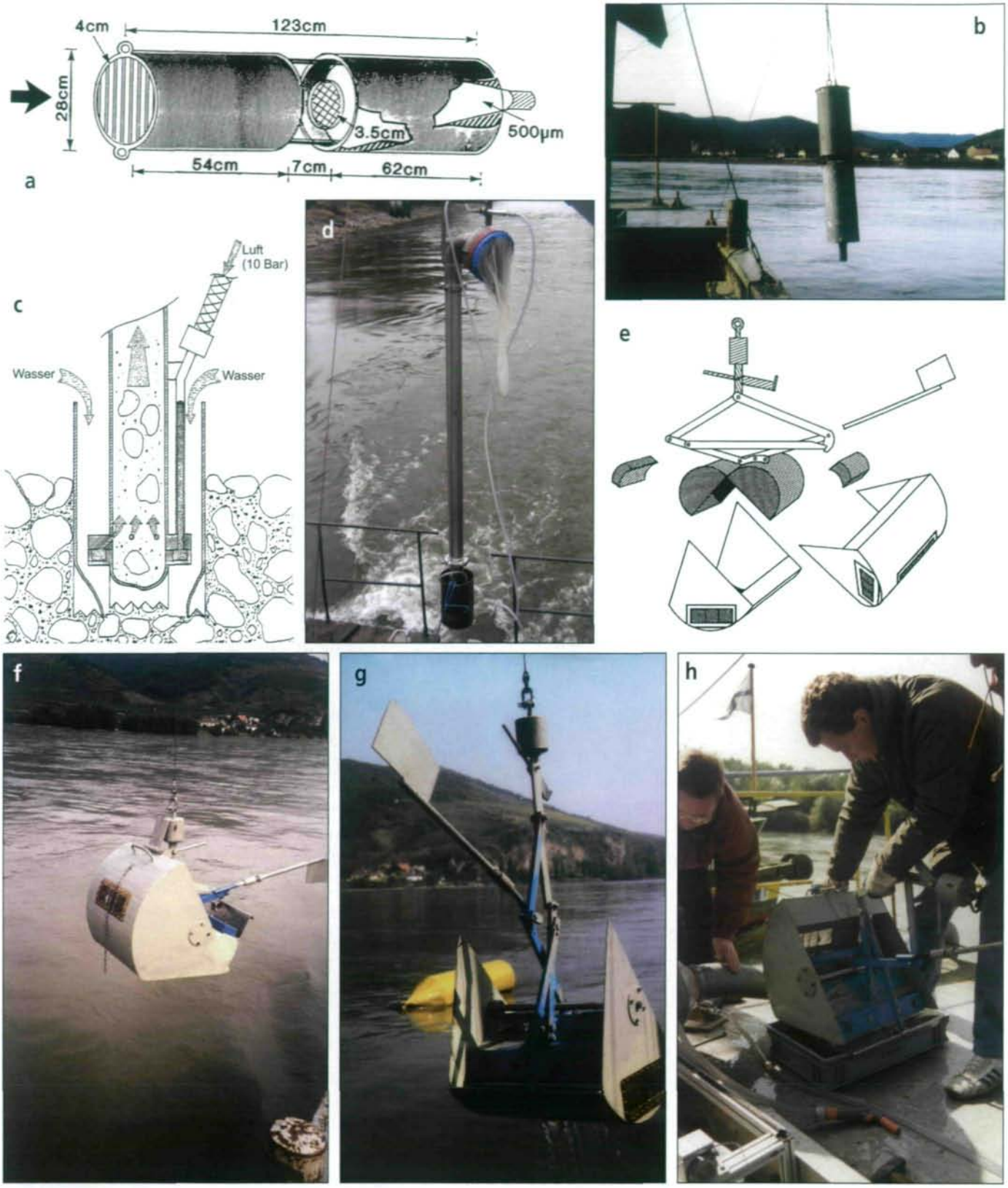


Abb. 5: Einzeldarstellung der Geräte für (a-d) qualitative, (e-m) quantitative Beprobung des Makrozoobenthos der Freien Fließstrecke der Donau. **a**: Fast Dredge, schematische Übersicht; **b**: Fast Dredge vor einer Beprobung; **c**: Air-Lift, schematische Übersicht (aus: PEHOFER 1998, verändert); **d**: Air-Lift vor einer Beprobung; **e**: Petersen-Greifer, schematische Übersicht; **f**: Petersen-Greifer offen, vor dem Herablassen auf den Flussboden; **g**: Petersen-Greifer geschlossen, nach dem Herausholen aus dem Wasser; **h**: Petersen-Greifer geöffnet zum Erhalten der Probe.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

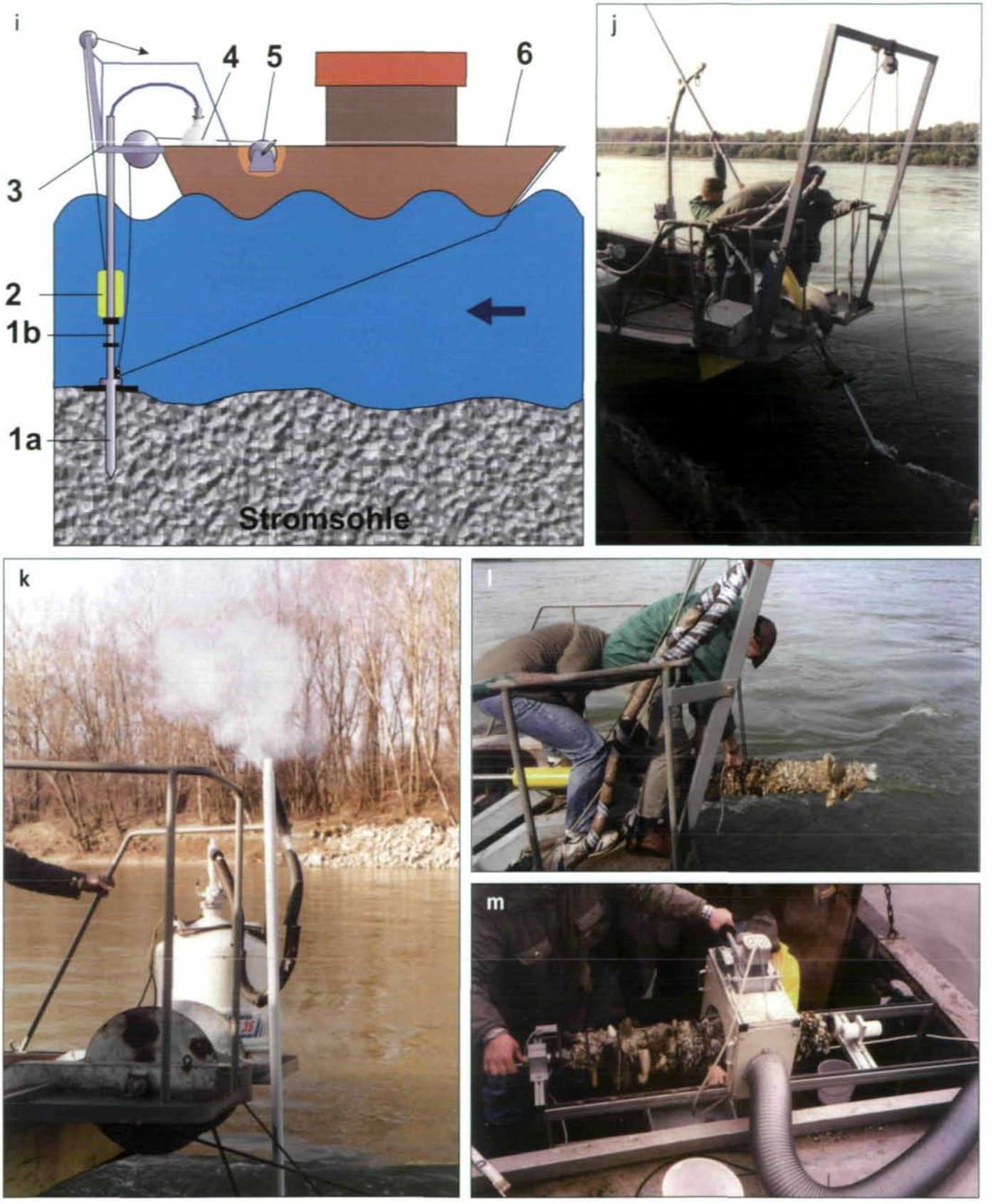


Abb. 5: Einzeldarstellung der Geräte für (a-d) qualitative, (e-m) quantitative Beprobung des Makrozoobenthos der Freien Fließstrecke der Donau. **i**: Stickstoff-Gefriercorer, schematische Übersicht (aus HUMPESCH & NIEDERREITER 1993): 1a Gefriercorer, 1b Corerrohr, 2 Einschlaghammer, 3 Plattform, 4 Stickstoffbehälter, 5 Winde, 6 Untersuchungsschiff; Pfeil gibt die Strömungsrichtung an; **j**: Corerrohr wird in das Wasser gelassen (links der N2-Behälter); **k**: Einfüllen des flüssigen N2 aus N2-Behälter; **l**: Corer, nachdem er aus dem Wasser gezogen wurde; **m**: Corer wird in 10 cm Teilstücke geschnitten.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

menden Steines, nicht vollständig schließt, der Inhalt der Schaufel beim Heraufziehen des Greifers ausrinnen kann.

- Stickstoff-Gefriercorer (Abb. 4f, 5i-m): Die Funktionsweise basiert auf dem Prinzip, dass ein Rohr, das bis zu einer bestimmten Tiefe, z.B. 1 m, in den Flussboden geschlagen wird, mit flüssigem Sickstoff (–195,8 °C) so versorgt wird, dass die Flussbodenbestandteile an das Rohr anfrieren. Danach wird das Rohr mit dem angefrorenen Substrat und den darin befindlichen Organismen aus dem Flussboden gezogen. Durch das Schneiden des sog. Cores, z.B. in 10 cm Schichten, kann so auch die Verteilung der Organismen in die Tiefe analysiert werden.

Der Vorteil der beiden Geräte ist, dass nicht nur die Bodenorganismen sondern auch das Substrat auf dem sie leben quantitativ erfasst werden und so Beziehungen zwischen der Lebensgemeinschaft und dem Lebensraum analysiert werden können.

Tab. 1: Gesamtzahl der benthischen Makroinvertebraten, die in der österreichischen Donau und ihren vier Haupthabitaten gefunden wurden. (Daten aus MOOG et al. 1995, 2000).

		Freie Fließstrecke		Gestaute Strecken	
Hauptgruppen	**Gesamtzahl**	**Hauptgerinne**	**Augewässer**	**Stauraum**	**Augewässer**
Nicht-Insekten					
Porifera	2	0	1	1	2
Hydrozoa	2	0	0	0	2
Turbellaria	25	5	5	10	16
Mollusca	68	32	46	47	61
Polychaeta	2	1	0	2	2
Oligochaeta	63	26	31	57	17
Hirudinea	24	10	16	13	22
Acarina	23	3	0	3	19
Araneae	1	0	1	0	0
Crustacea	23	11	10	11	15
Bryozoa	8	2	5	2	8
Insekten (excl. Diptera)					
Ephemeroptera	40	15	8	18	33
Plecoptera	6	0	0	2	4
Odonata	60	1	30	7	58
Heteroptera	30	2	26	3	22
Megaloptera	2	0	2	1	2
Planipennia	2	2	2	0	2
Coleoptera	138	5	53	7	131
Trichoptera	106	32	62	51	92
Lepidoptera	4	0	2	0	2
Diptera	493	163	130	229	203
Gesamtzahl	**1122**	**310**	**430**	**464**	**713**

Artenzusammensetzung der Donau

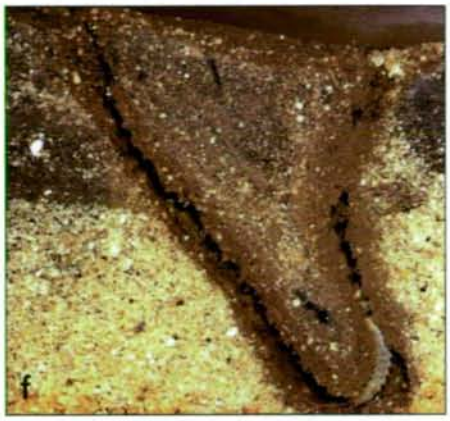
In den Arbeiten von MOOG et al. (1995, 2000) sind alle Arten der bodenbewohnenden Makroinvertebraten, die aus der österreichischen Donau bekannt sind, zusammengefasst. Insgesamt wurden 1.289 Arten festgestellt, wenn von dieser Zahl die Collembolen und bestimmte Zweiflügler abgezogen werden, ergibt sich eine Zahl von 1.122 Arten. Zu letzteren tragen die Dipteren (größtenteils Zuckmücken) mit 493 Arten oder 44 % bei. Von übrigen 20 Hauptgruppen gehören zu den Coleopteren 138 und zu den Trichopteren 106 Arten, alle übrigen Gruppen weisen eine geringere Artenzahl auf (Tab. 1). Eine Auswahl von Arten, die für die österreichische Donau typisch sind, ist in Abbildung 6 wiedergegeben.

Die Makroinvertebraten können im Strom vier Hauptlebensorten zugeordnet werden (Tab. 1): der Region der Freien Fließstrecke des Hauptgerinnes und seiner angeschlossenen Augewässer, der der gestauten Strecke, den Stauräumen und den diesen angeschlossenen Augewässern. In letzteren wurden 713 Arten aller Hauptgruppen gefunden. Die Stauräume enthielten 464 Arten, die Augewässer der Freien Fließstrecke 430 Arten jeweils von 17 Gruppen und die Freie Fließstrecke selbst 310 Arten von 15 Gruppen.

Von der Gesamtzahl der Arten, die in allen 4 Haupthabitaten vorkommen, dominieren die Dipteren, in der Freien Fließstrecke die Trichopteren und Mollusken und in ihren Augewässern die Trichopteren, Coleopteren und Mollusken (Tab. 1). Die Oligochaeten, Trichopteren und Mollusken waren in den Stauräumen dominant, in deren Augewässer die Coleopteren und Trichopteren. Die Arten der übrigen Gruppen machten weniger als 10 % der Gesamtzahl der Arten in den einzelnen Hauptlebensräumen aus.

Gegenwärtig enthält die Datenbasis der „Roten Liste Österreichs" (www.roteliste.at) nur Informationen über die Mammalier, Vögel, Reptilien, Amphibien, Fische und Schmetterlinge, während der Wissensstand über den Gefährdungsgrad der Arten des Makrozoobenthos der Donau sehr lückenhaft ist: gefährdet gelten nach BAUERNFEIND & HUMPESCH (2001) zehn Ephemeropteren-, nach MALICKY (1994) 25 Trichopte-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at



© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

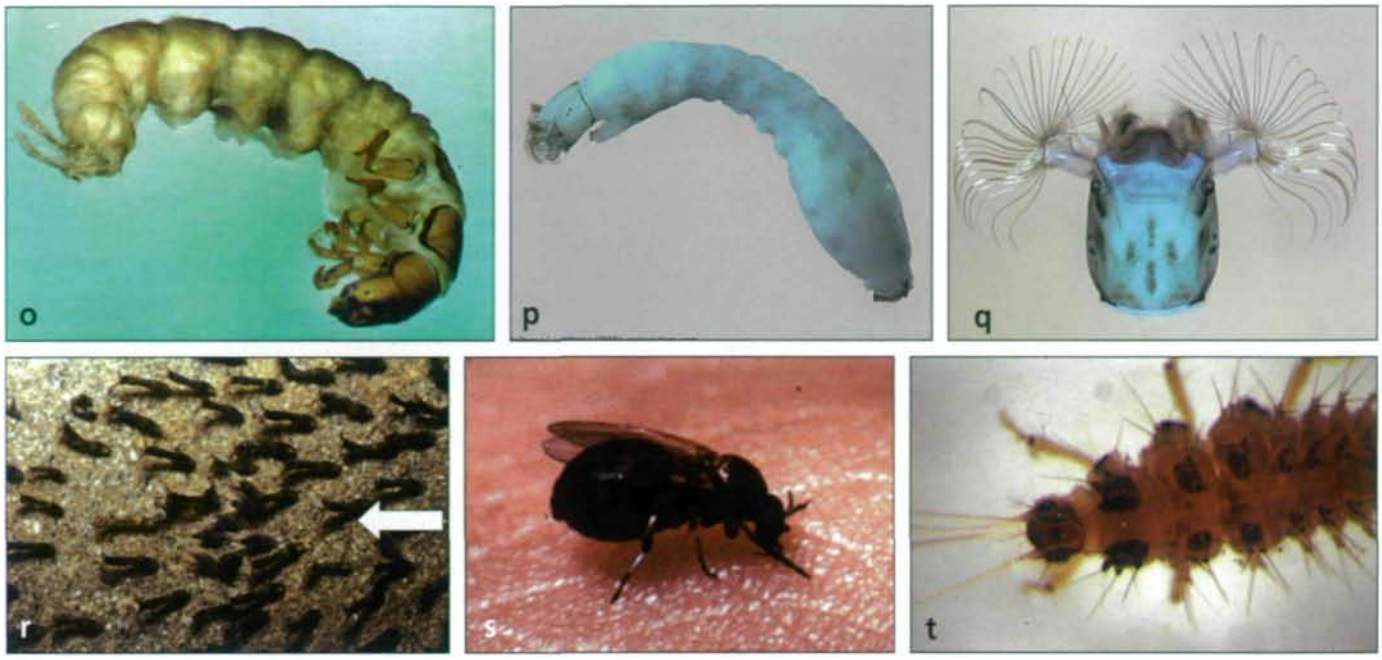


Abb. 6: Typische Arten des Makrozoobenthos der Freien Fließstrecke der Donau: **a**: Strudelwurm – *Dendrocoelum lacteum* (MÜLLER) (Photo: P. Kölbl); **b**: Schnecke – *Lithoglyphus naticoides*, lebend (Photo: S. Linden); **c**: *L. naticoides*, Schalen (Photo: 2000 Terra Foundation, www.terra.hu); **d**: Muschel – *Corbicula flumineal/fluminalis* (Photo: A. Kureck); **e**: Krebs – *Echinogammarus ischnus* (Photo: Kahlert); **f**: Eintagsfliegen – *Ephoron virgo* (OLIVIER), Larve in Wohnröhre; **g**: *E. virgo*, Larvenkopf; **h**: *E. virgo*, ♂ Imaginalhäutung; **i**: *E. virgo*, ♀ Massenflug (z.B. beobachtet am 24. August 1994 Donauländе Linz) (Photo: A. Kureck); **j**: *Potamanthus luteus* PICTET, Larve; **k**: *P. luteus*, ♂ Subimago; **l**: *P. luteus*, ♂ Imago (Photo: P. Maihöfer); **m**: Köcherfliegenlarven – *Ceraclea dissimilis* (STEPHENS); **n**: *Lepidostoma hirtum* (FABRICIUS); **o**: *Hydropsyche* sp. (Photos: J. Waringer); **p**: Kriebelmücken – *Simulium colombaschense*, Larve; **q**: *S. angustipes* (EDWARDS), Kopf von oben, mit Haarfächer der ein- und ausklappbaren Fortsätzen der Oberlippe (Photos: W. Lechthaler); **r**: Simuliiden-Larven auf Substrat (Pfeil gibt die Strömungsrichtung des Wassers an); **s**: Simuliidae, blutsaugendes ♀ (Photo: US Department of Agriculture); **t**: Schwammfliege – Larve von *Sisyra dalii* MCLACHLAN (Photo: W. Weißmair).

ren-, nach FRANK & REISCHÜTZ (1994) 45 Molluskenarten und nach GEPP (1994) eine Sisyridenart.

Einwanderung neuer Arten von Makroinvertebraten

Die Einwanderung von neuen Arten ist eine weltweite Erscheinung und von großer ökologischer Bedeutung. Ursprünglich führten die „Einwanderer" zu einer Zunahme der Biodiversität in den betroffenen Gebieten, doch bedeuten die Einwanderer auch eine mögliche Gefahr für die ursprüngliche Lebensgemeinschaft, da sie im Einwanderungsgebiet das Verschwinden der dort lebenden, seltenen, aber auch häufigen Arten bedingen können. Weiters beeinflussen sie die dortige ökologische Struktur und Funktionsweise der Lebensgemeinschaft wesentlich. Die Donau fließt durch verschiedene tiergeographische Regionen und ist außerdem seit 1992 über den Main mit dem Rhein künstlich verbunden. Diese Verbindungen ermöglichen die Einwanderung von Faunenelementen aus diesen Gebieten in die österreichische Donau und zwar sowohl vom Westen flussabwärts als auch vom Osten -aufwärts (Tab. 2).

Als Folge der Veränderung des Lebensraumes im Flusslauf, wie durch Staustufen, z.B. hinsichtlich der Strömung und der Bodenstruktur (siehe z.B. HUMPESCH 1992) wurden neue Lebensräume geschaffen, die für das Überleben der Einwanderer sehr gute Umweltbedingungen bedeuten.

Als Folge dieser Einwanderungsvorgänge wird die ursprüngliche Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft wesentlich verändert. Typische Beispiele dafür sind die von Osten her aktiv eingewanderten Krebsarten *Corophium curvispinum*, *Echinogammarus ischnus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus* und *Jaera istri* bzw. die passiv vertragenen Arten wie die Muschel *Dreissena polymorpha* und der Süßwasservielborster *Hypania invalida*. Alle diese Arten sind ursprünglich Element der pontokaspischen Fauna mit ihrer ursprünglichen Verbreitung auf

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tab 2: Einwanderer der österreichischen Donau (TITTIZER 1997; MÜLLER et al. 2002): ihre hauptsächlichen Habitate; ihre Herkunft; ihre Verbreitung und ihre besonderen ökologischen Ansprüche. FF = Freie Fließstrecke; S = Stauraum; A = Augewässer der FF und des S.

Arten	Fundort	Herkunft	Mittel der Verbreitung	Besonderheiten
Turbellaria				
Dugesia tigrina (GIRARD)	S, A/S, A/FF	Nord-Amerika	Aquarianer, Schiffe	Euryök, thermophil
Annelida				
Branchiura sowerbyi BEDDARD	S	Süd-Asien	Aquarianer, Schiffe	Thermo-, pelophil
Caspiobdella fadejewi (EPSHTEIN)	S, A/S, A/FF	Pontokaspis	Besatzfische, Schiffe, Wanderung	Ektoparasit an Fischen
Hypania invalida (GRUBE)	FF, S, A/S	Pontokaspis	Schiffe	Salztolerant, pelophil, semisessil
Gastropoda				
Ferrissia wautieri (MIROLLI)	FF, A/FF	Südost-Europa	Schiffe, Vögel	–
Lithoglyphus naticoides (PFEIFFER)	FF, S, A/FF, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Vögel	Pelophil
Physella acuta (DRAPARNAUD)	S	Südost-Europa	Schiffe, Aquarianer	Euryök
Potamopyrgus antipodarum (GRAY)	FF, S, A/S	Neuseeland	Schiffe, Vögel	Salztolerant
Theodoxus danubialis (PFEIFFER)	FF, A/FF	Pontokaspis	Schiffe, Vögel	–
Viviparus acerosus (BOURGUIGNAT)	S, A/FF, A/S	Südost-Europa	Schiffe, Vögel	Pelophil
Bivalvia				
Dreissena polymorpha (PALLAS)	FF, S, A/FF, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Vögel, aktiv schwimmende Larven	Salztolerant, lithophil
Corbicula fluminealfluminalis MÜLLER	FF	Nord-Amerika	Schiffe	Halophil, thermophil
Crustacea				
Echinogammarus ischnus (STEBBING)	FF, S, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Wanderung	Salztolerant, eurytherm
Corophium curvispinum (SARS)	FF, S, A/FF, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Wanderung	Euryök
Dikerogammarus haemobaphes (ECHWALD)	FF, S, A/FF, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Wanderung	Euryök
D. villosus SOVINSKY	FF, S, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Wanderung	Euryök
Jaera istri VIEUILLE	FF, S, A/S	Pontokaspis	Schiffe, Wanderung	Salztolerant, rheophil
Oronectes limosus (RAFINESQUE)	A/FF	Nord-Amerika	Aussetzung, Schiffe, Wanderung	Euryök

dem Balkan und in Russland. Erst kürzlich hat die vom Westen eingewanderte Muschel *Corbicula fluminea* die österreichische Donau erreicht.

Die Einwanderer sind sehr erfolgreich im Besiedeln neuer Lebensräume und können deshalb ein Risiko für die heimische Fauna, ihre Lebensräume und das Ökosystem darstellen. Deshalb ist die Untersuchung der interspezifischen Verhaltensweisen von heimischer Fauna und Einwanderer ein Gebot der Stunde, denn so beginnt z.B. in den Niederlanden der aus dem pontokaspischen Raum eingewanderte *Dikerogammarus villosus* sowohl den heimischen Amphipoden *Gammarus duebeni* als auch den sehr erfolgreich aus Nord-Amerika eingewanderten G. *tigrinus* zu ersetzen. Experimente haben gezeigt, dass *Dikerogammarus villosus* sich gegenüber den beiden anderen Arten räuberisch verhält. Dieser relativ große Räuber führt durch sein Verhalten zu einer Abnahme der Amphipodendiversität in einer Reihe von Süßwasserlebensräumen in Westeuropa, die Donau miteingeschlossen, wo er für die heimischen Amphipoden *Gammarus roeseli* und G. *fossarum* eine Gefahr bedeutet (DICK & PLATVOET 2000; MÜLLER et. al. 2002; PÖCKL et al. 2003).

Querprofil der Freien Fließstrecke unterhalb Wiens

Die Donau östlich von Wien besitzt nach Strahler die Flussordnungszahl neun, obgleich die frei fließende Strecke, die hier untersucht wurde, eher der mittleren Region (Flussordnung sechs) entlang des River Continuums entspricht (VANNOTE et al. 1980). Ein Wert von sechs stimmt auch mit dem Zonierungskonzept von ILLIES & BOTOSANEANU (1963) überein, während die hohe Ordnungszahl von neun auf den Einfluss eines anderen einmündenden großen Fließgewässers, des Inns, zurückzuführen ist. In der freien Fließstrecke entfallen 30 % der Arten auf die epipotamale Zone, 20 % auf die hyporhithrale und die restlichen Prozent auf sieben andere Zonen (ILLIES & BOTOSANEANU 1963). Daher repräsentiert diese Strecke eine Übergangszone zwischen dem Hyporhithral und dem Epipotamal (MOOG et al. 2000).

Für die Untersuchung eines Quertransektes im Hauptkanal der frei fließenden Donau östlich von Wien (Strkm 1889,9) wurden monatlich an vier Stellen quantitative Proben entnommen (Abb. 7). Die Donau ist in diesem Bereich 380 m breit, mit einer mittleren Tiefe zwischen 3,1 und 4,6

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

m bei einer mittleren Schüttung von 2170 m^3 pro Sekunde (FESL et al. 1999). Die Stromsohle besteht aus Fels, Stein und Schotter mit gelegentlich Sand und Schlick. Sie wurde mittels modifiziertem Peterson-Greifer (HUMPESCH & ELLIOTT 1990) bis in eine Tiefe von 0,26 bis 11,1 cm besammelt.

Wichtige Umweltvariablen im Quertransekt

Eine Hauptkomponentenanalyse auf der Basis von 32 gemessenen oder errechneten Umweltvariablen resultierte in sechs Hauptkomponenten (Tab. 3): mittlere Strömungsgeschwindigkeit, mittlere Korngröße, Heterogenität des Sediments (Zusammensetzung des Sediments aus gleichen oder verschieden großen Körnern), Lückenraum im Sediment, der Umlagerung (Instabilität) des Sediments und die Wassertemperatur. Letztere variierte über das Untersuchungsjahr von 2 bis 19,5 °C, mit einer mittleren Temperatur von 10 °C.

An der Stelle 4 entlang des Quertransekts, nahe dem linken Ufer, ist die Strömungsgeschwindigkeit signifikant geringer gegenüber den anderen Stellen (Tab. 3). Im Zeitverlauf wurde die größte Strömung im Mai und Juli während der Schneeschmelze in den Alpen beobachtet.

Auch die Substratzusammensetzung variiert entlang des Quertransekts. Das rechte Ufer ist durch Blockwurf stabilisiert, und die nahe gelegene Stelle 1 weist signifikant größere Korngrößen verglichen mit den übrigen Stellen auf. Die kleinsten mittleren Korngrößen wurden nahe dem linken Ufer hinter einer Buhne beobachtet; die Sedimentpartikel nahe der Strommitte an der Stelle 3 liegen in ihrer Größe zwischen jenen der Stellen 1 und 4. Die mittleren Korngrößen variieren auch im Jahresverlauf. Die Heterogenität der Sedimentzusammensetzung nimmt vom rechten zum linken Ufer hin leicht zu, während die zeitliche Variation nur gering ist.

Die Sedimentumlagerung unterscheidet sich zwischen den Stellen und ihre zeitlichen Veränderungen entsprechend den Schüttungsverhältnissen mit geringerer Sedimentbewegung im Winter und höheren Umlagerungen im späten Frühling und Sommer. Das Sediment nahe dem linken Ufer ist durch einen geringeren Lückenraum im Vergleich zu den übrigen Stellen gekennzeichnet, was auf die geringere Strömungsgeschwindigkeit und damit eine stärkere Sedimentation kleiner Partikel zurückzuführen ist. Im Zeitverlauf wurde der geringste mittlere Lückenraum im Juli gefunden.

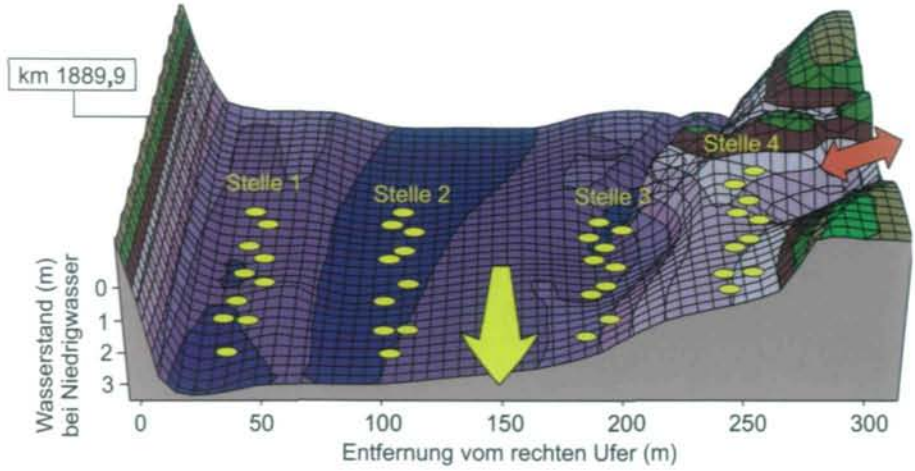


Abb. 7: Netzgrafik des Untersuchungsareals bei Niedrigwasserstand (Durchfluss 1182 $m^3 s^{-1}$) bei Flusskilometer 1889,9 der Donau östlich von Wien. Die Kreise zeigen die möglichen der zufällig gewählten Positionen von zehn Proben innerhalb der vier Stellen entlang des Quertransektes (Stellen 1, 2, 3 und 4: 30 m, 100 m, 200 m und 250 m vom rechten Ufer). Die Proben wurden monatlich von September 1995 bis August 1996 entnommen. Der gelbe Pfeil gibt die Strömungsrichtung an, der rote Pfeil die Anbindung an die Au (nach FESL 2002).

Biodiversität der Makrozoobenthos-Gemeinschaft in Beziehung zu Umweltvariablen in einem Quertransekt der Donau flussabwärts von Wien

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Attribute der Invertebraten-Gemeinschaft für detaillierte Analysen verwendet. Die wichtigsten Ergebnisse werden im Folgenden angeführt.

Taxonomische Zusammensetzung und Individuendichten der Arten

Insgesamt wurden 164 Arten an vier Stellen entlang des Quertransektes gefunden (Tab. 4), von denen 81 Arten den Chironomiden (v.a. Orthocladiinae) und 33 den Oligochaeten (v.a. Naididae) zuzuordnen

Tab. 3: Fünf hydrophysikalische Variablen an vier Probennahmestellen in einem Quertransekt der Donau bei Strkm 1889,9 (FESL 2002). Die Proben wurden monatlich von September 1995 bis August 1996 entnommen. Die Position der Stellen ist Abbildung 7 zu entnehmen.

Variable	Stelle 1	Stelle 2	Stelle 3	Stelle 4
Mittlere Strömung (cm pro sek)	182,0	206,2	197,4	139,6
Median der Korngrößen (mm)	59,5	28,9	40,7	27,9
Substratheterogenität	1,48	1,58	1,67	1,75
Sedimentumlagerung	1,5	3,5	2,6	2,1
Lückenraum (%)	30,8	33,3	31,5	25,6
Wassertemperatur (°C)		Mittel 10 °C		

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

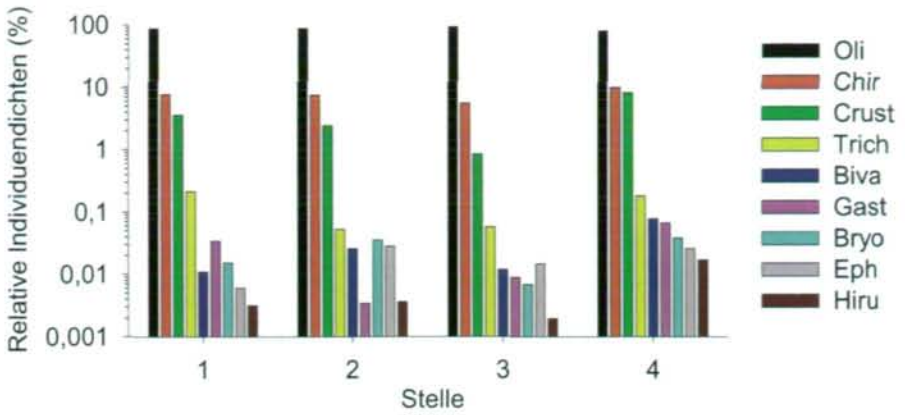


Abb. 8: Relative Individuendichten (log. Skala) von neun taxonomischen Gruppen, die bis zum Artniveau bestimmt wurden. Oli, Oligochaeta; Chir, Chironomidae; Crust, Crustacea; Trich, Trichoptera; Biva, Bivalvia; Gast, Gastropoda; Bryo, Bryozoa; Eph, Ephemeroptera; Hiru, Hirudinea.

waren. Die Stelle 4, nahe dem linken Ufer, weist 142 Arten mit 68 Chironomiden-Arten (29 davon kommen nur an dieser Stelle vor) und 30 Arten an Oligochaeta (davon 2 ausschließlich an der Stelle 4) auf. Weitere sieben Großgruppen beinhalten zusammen 50 Arten. An der Stelle 4 wurden die höchsten Artenzahlen an Trichopteren (10 von insgesamt 11 Arten), Ephemeropteren (9/11), Bivalven (8/8), Gastropoden (7/8), Crustaceen (6/7) und Hirudineen (2/2) gefunden; 2 Bryozoen-Arten kommen an drei der vier Stellen vor (Tab. 4). Insgesamt weist die Stelle 4 die weitaus größte Anzahl an Arten (47) auf, die an keiner anderen Stelle gefunden wurde.

Die Stelle 4 ist neben der höchsten Artenzahl (142) durch die geringsten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten und Korngrößen gekennzeichnet. Im Vergleich dazu, ist die Stelle 1, nahe dem rechten Ufer, durch die größten Korngrößen und die geringste Sedimentumlagerung (Tab. 3) charakterisiert. Darüber hinaus weist sie geringere Artenzahlen (93) als die Stelle 4, aber, mit Ausnahme der Ephemeropteren, leicht höhere als die Stellen 2 und 3, in der Strommitte auf (Tab. 4). Sieben von 93 Arten kommen nur an der Stelle 1 vor, 11 von 82 nur an der Stelle 2 und 4 von 71 Arten nur an der Stelle 3. Von diesen 22 Arten mit eingeschränkter Verteilung sind 16 Chironomiden und Oligochaeten und zwei Ephemeropteren.

Bezüglich der Gesamtindividuendichten pro m² Stromsohle sind die Oligochaeta am zahlreichsten (*Chaetogaster diastrophus/setosus* (SVETLOV) und *Nais elinguis* MÜLLER am häufigsten), gefolgt von den Chironomiden (*Cladotanytarsus* cf. *vanderwulpi* (EDWARDS) und *C.* cf. *daviesi* BILYIJ & DAVIES am häufigsten). Auf diese beiden Gruppen entfallen mehr als 95 % der Gesamtindividuenzahlen an allen Stellen (Abb. 8). Die mittleren Gesamtabundanzen aller Arten zusammen sind an der Stelle 4 am höchsten (11.146 Individuen pro m²), doppelt so viel als die mittleren Abundanzen an der Stelle 1 und das Zehnfache jener an der Stelle 3; an der Stelle 2 beträgt die durchschnittliche Individuenzahl nur 623 Individuen pro m² (Tab. 4).

Unter den restlichen identifizierten 50 Makroinvertebraten-Arten, sind die Crustaceen vergleichsweise abundant, v.a. *Jaera istri* (35 %) und *Corophium curvispinum* (32 %), gefolgt von einer Bryozoen-Art, *Fredericella sultana* (4 %), und Trichopteren, im wesentlichen *Hydropsyche contubernalis* and *Psychomya pusilla* (3 %). Mit mittleren relativen Abundanzen von weniger als 1 % treten die Bivalven, die Gastropoden, die Ephemeropteren und Hirudineen auf, was

Tab. 4: Gesamtartenzahlen (S), Artenzahlen an den einzelnen Stellen und mittlere Individuendichten entlang des Quertransektes flussabwärts von Wien; fettgedruckte Zahlen in Klammern entsprechen den Artenzahlen, die ausschließlich an der jeweiligen Stelle gefunden wurden. Die Daten für Chironomiden wurden FESL (2002), für Oligochaeten FESL & HUMPESCH (2003) und für alle anderen Gruppen FESL & HUMPESCH (2005) entnommen. Die Lage der Untersuchungsstellen sind der Abbildung 7 zu entnehmen.

Großgruppe	S	Stelle 1		Stelle 2		Stelle 3		Stelle 4	
Chironomidae	81	40	**(3)**	37	**(8)**	27	**(2)**	68	**(29)**
Oligochaeta	33	28	**(1)**	24	**(1)**	25	**(1)**	30	**(2)**
Ephemeroptera	11	2	**(1)**	5	**(1)**	3		9	**(5)**
Trichoptera	11	7	**(1)**	4		4		10	**(3)**
Bivalvia	8	5		2		3		8	**(2)**
Gastropoda	8	4	**(1)**	1		2		7	**(4)**
Crustacea	7	4		6	**(1)**	4		6	**(1)**
Bryozoa	3	2		2		1	**(1)**	2	
Hirudinea	2	1		1		1		2	**(1)**
Gesamtzahl der Arten	**164**	**93**	**(7)**	**82**	**(11)**	**70**	**(4)**	**142**	**(47)**
Mittlere Ind.-Dichten (per m²)	**—**	**5.314**		**623**		**1.195**		**11.146**	

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

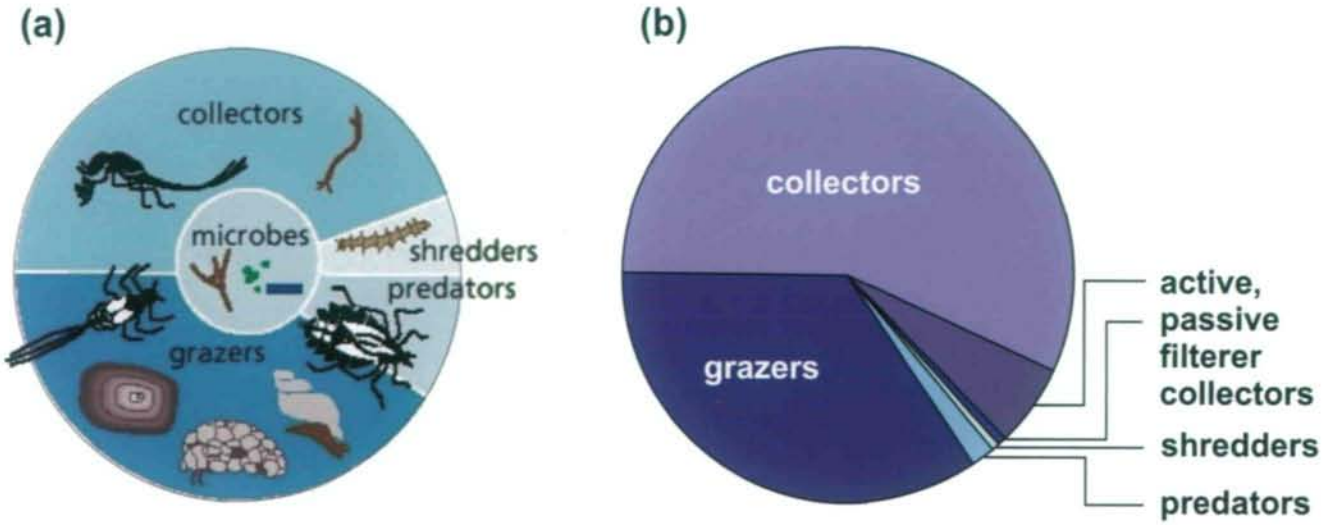


Abb. 9: **a**: Erwartete relative Anteile der funktionellen Ernährungstypen gemäß dem River Continuum Concept (adaptiert von: Oxbow River & Stream Restoration 2003). **b**: Mittlere Zusammensetzung der funktionellen Ernährungstypen in der Freien Fließstrecke der Donau flussabwärts von Wien. Collectors = Sammler, grazers = Weidegänger, filterer collectors = Filtrierer, shredders = Zerkleinerer, predators = Räuber, microbes = Mikroorganismen.

auf eine große Anzahl seltener Arten hindeutet. Die Gesamtindividuendichten aller Arten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Stellen und eine große zeitliche Variation, mit Spitzen in November und März und den geringsten Werten im Juli nach durch die Schneeschmelze in den Alpen verursachten Hochwässern.

Ein Vergleich der Anteile an den funktionellen Ernährungstypen – shredders (Zerkleinerer), collectors (Sammler), grazers (Weidegänger) und predators (Räuber) – weist auf eine Dominanz der collectors hin (Abb. 9).

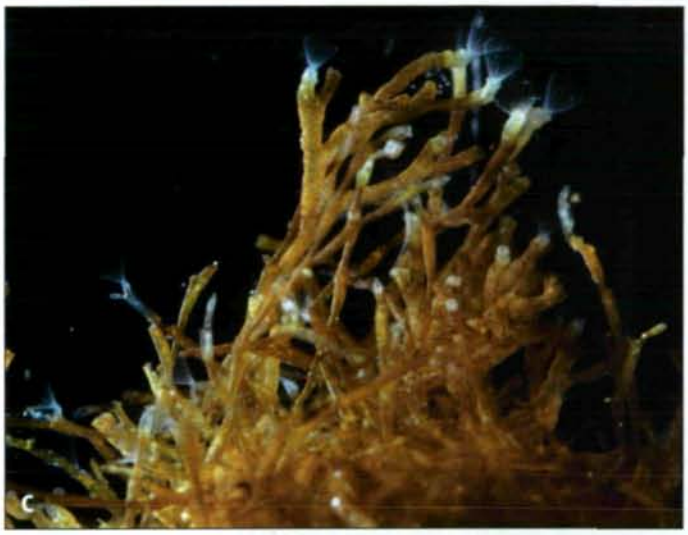
Aspekte der Bryozoenbesiedlung

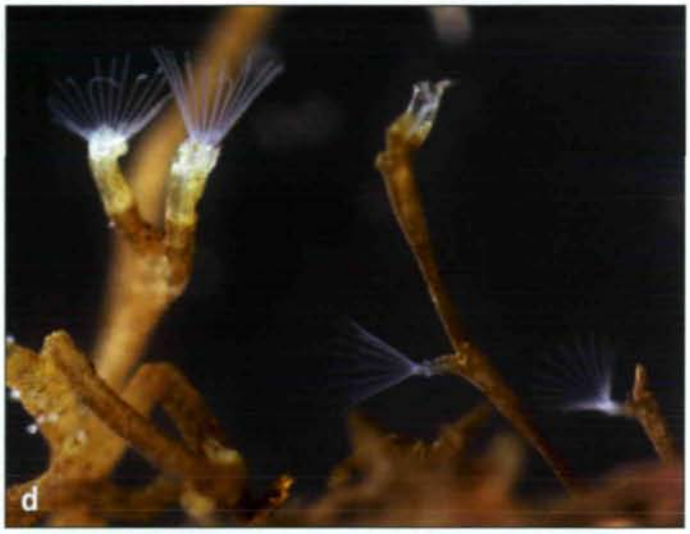
Bereits LIEPOLT (1967) gibt in seiner Monographie zur Limnologie der Donau ein Vorkommen von insgesamt acht Bryozoen-Arten an, deren Verbreitungsgebiet im Strom als unregelmäßig klassifiziert wird. Allerdings führt er auch mit *Victorella pavida* KENT eine Brackwasserform, die sich auf das Donaudelta beschränkt. Für den österreichischen Abschnitt des Donaustroms gilt bei diesem Autor einzig *Plumatella repens* (LINNAEUS) als belegt. In MOOG et al. (1995) werden aus früheren Untersuchungen für die Fließstrecke unterhalb Wiens die beiden Arten *Fredericella sultana* (BLUMENBACH) und *Cristatella mucedo* CUVIER genannt (Abb. 10a, e). PÉCSI & ERDELICS (1970) beschreiben zudem im angrenzenden ungarischen Donauabschnitt das Auftreten von *Paludicella articulata* (EHRENBERG). In der vorliegenden Arbeit beinhalten die 480 Proben, die innerhalb eines Jahres zu zwölf Terminen an den vier Stellen des Quertransekts bei Strkm 1889 genommen wurden, Kolonien von *Fredericella sultana*, *Paludicella articulata* und *Plumatella emarginata* ALLMAN (Abb. 10a-d, h). *Fredericella sultana* tritt im Durchschnitt rund 20 x so häufig auf als *Paludicella articulata*, während der Anteil von *Plumatella emarginata* verschwindend gering bleibt (Tab. 5), so finden sich nur in einer einzigen Probe des Monats August Kolonien der letztgenannten Art. In den folgenden beiden Abbildungen 11 und 12 werden ausschließlich die Koloniefunde von *Fredericella sultana* und *Paludicella articulata* berücksichtigt.

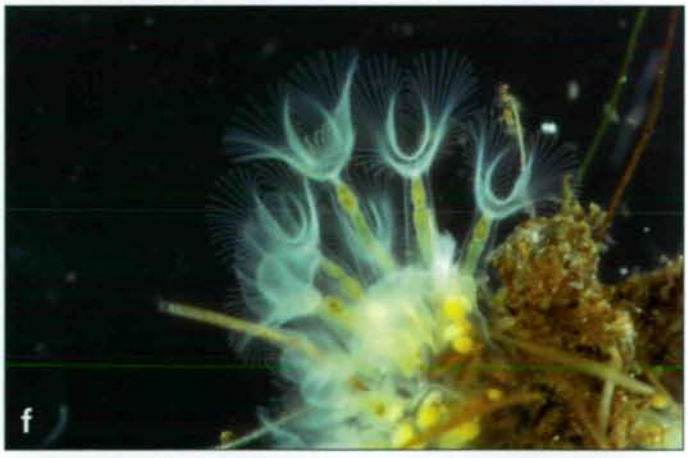
Die Darstellung des jahreszeitlichen Verlaufs (Abb. 11) zeigt, dass für diese beiden Arten in den Wintermonaten und im Frühjahr die Abundanzen geringer sind, beziehungsweise, dass Funde vollkommen fehlen. Dies entspräche dem natürlichen Rückgang der Kolonien bis hin zum völligen Ausfall zu Beginn der kälteren Jahreszeit, obwohl gerade im Falle von *Fredericella sultana* und *Paludicella articulata* eine Überwinterungsfähigkeit der Kolonien angenommen werden kann (WIEBACH 1960). Die geringe Häufigkeit von *P. articulata*, die nur bei drei Terminen (Mai, August und September) vertreten ist, lässt allerdings nur beschränkt Rückschlüsse zu. *Fredericella sultana* fehlt nur im März und April; besonders auffällig ist die hohe Dichte an Kolonien im Juni, so sind 52 % des Jahresanteils diesem Monat zuzurechnen, gefolgt vom Juli (15 %) und August (13 %).

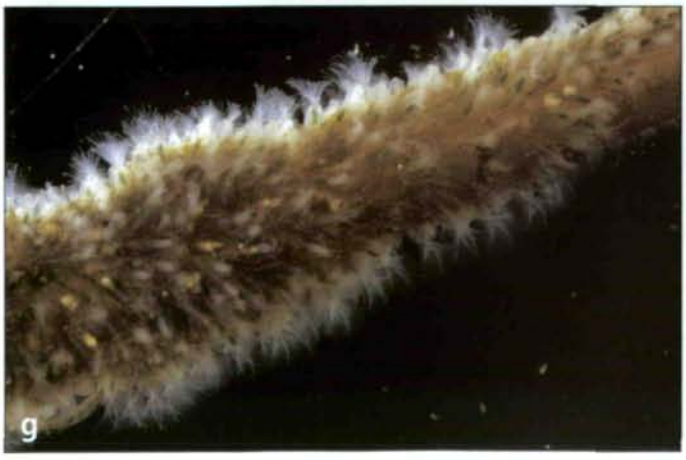
Vergleicht man die vier Probenstellen des Quertransekts (Abb. 12), so ist die mitt-

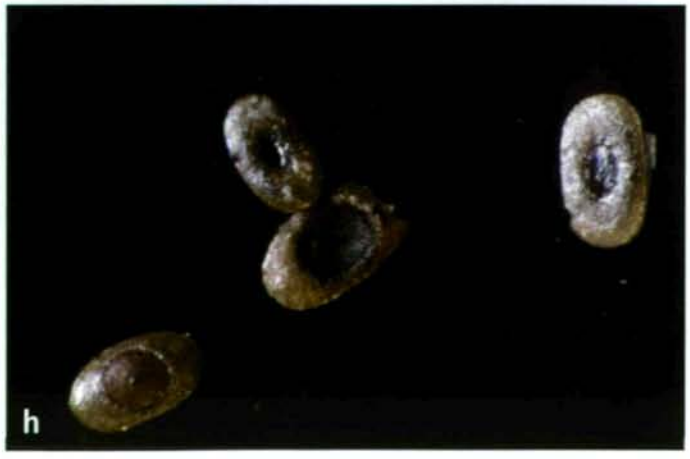
© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at











© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 5: Abundanz der Bryozoenkolonien im Quertransekt in der freien Fließstrecke der Donau bei Flusskilometer 1889,9.

	Fredericella sultana	*Paludicella articulata*	*Plumatella emarginata*
Mittlere Koloniezahl per m²	0,53	0,03	0,005
Maximale Koloniezahl per m²	588,74	52,84	9,81

lere Koloniendichte aller Bryozoenarten an der linksufrigen Stelle 4 im Durchschnitt etwa viermal so hoch als im gesamten Bereich der übrigen drei Stellen. Allein *F. sultana* ist an allen vier Stellen vertreten, ihre mittlere Gesamtabundanz verteilt sich zu 80 % auf Stelle 4, gefolgt von 16 % an der rechtsufrigen Stelle 1 und vergleichsweise verschwindend kleinen Werten an den Stellen 2 und 3 nahe der Strommitte. Bei *Paludicella articulata* ist die Dichte an Kolonien an Stelle 4 fast doppelt so hoch wie an den gleich stark besiedelten Stellen 1 und 2.

Moostiere bilden zur Überbrückung ungünstiger Lebensbedingungen Dauerstadien aus, die sich in zahlreichen Benthosproben in Form von Statoblasten wiederfinden. Diese Art der Dauerknospen werden ausnahmslos in der Klasse der Phylactolaemata gebildet, der alle hier zu besprechenden Moostierarten mit Ausnahme von *P. articulata* angehören. Statoblasten werden je nach Ausbildungsgrad eines Schwimmrings in Flottoblasten, Sessoblasten und Piptoblasten unterteilt (RYLAND 1970). Die höchsten Abundanzen an Dauerstadien sind auf die Piptoblastenfunde von *Fredericella sultana* zurückzuführen (Abb. 13), die im Mittel fast achtmal so häufig wie Koloniefunde anzutreffen sind und pro m² einen Maximalwert von 14.081 erreichen. Generell übertrifft die mittlere Dauerstadiendichte von *F. sultana* (Abb. 10b) jene von *Plumatella emarginata* (Abb. 10h) um das zweifache bzw. jene von *P. fungosa* (PALLAS) (Abb. 10g) sogar um das dreifache. Die beiden letztgenannten Arten bilden sowohl Flottoblasten als auch Sessoblasten aus, wobei sich der Flottoblastenanteil in den Proben zwischen 65 % und 75 % bewegt. Nennenswerte Vorkommen an Dauerstadien sind außerdem von *Hyalinella punctata* (HANCOCK) zu berichten, gefolgt von *Cristatella mucedo* und *Plumatella repens*. Als ausgesprochene Rarität sind hingegen die Funde von *P. fruticosa* ALLMAN und insbesonders von *Lophopus crystallinus* (PALLAS)

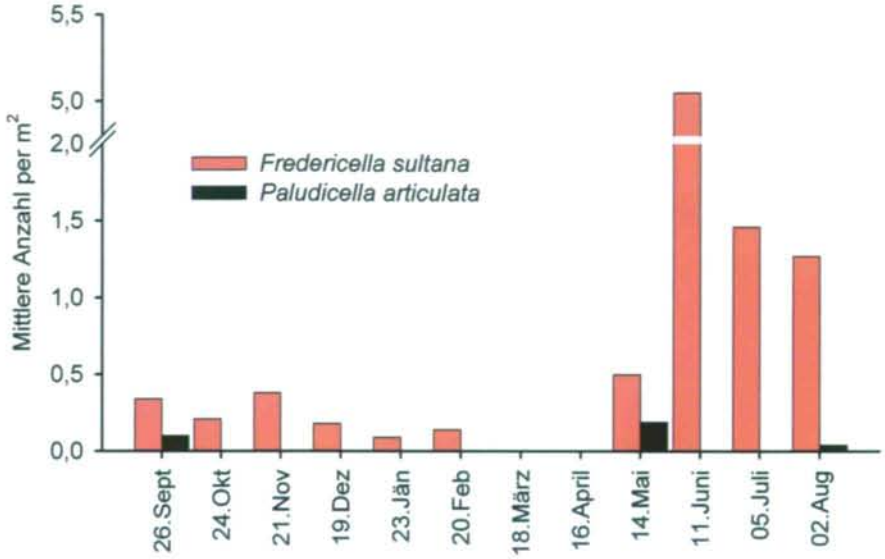


Abb. 11: Abundanz von Bryozoenkolonien im Jahresverlauf im Quertransekt bei Strkm1889,9: mittlere Anzahl der Kolonien per m² der Arten *Fredericella sultana* und *Paludicella articulata*.

Abb. 12: Abundanz von Bryozoenkolonien an den vier Probenstellen im Quertransekt bei Strkm1889,9: mittlere Anzahl der Kolonien per m² der Arten *Fredericella sultana* und *Paludicella articulata*.

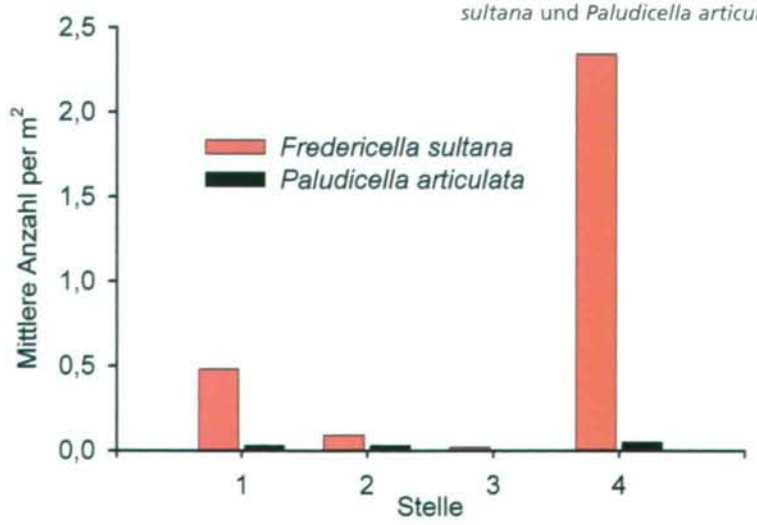


Abb. 10: Bryozoa im Quertransekt bei Strkm 1889,9. **a**: *Fredericella sultana* – Kolonie auf *Myriophyllum*-Stengel; **b**: *F. sultana* – Piptoblasten in degenerierter Kolonieröhre; **c**: *F. sultana* (Bildmitte) und *Paludicella articulata* (außen; Kolonien zarter und aus konisch verlaufenden Röhren zusammengesetzt); **d**: Zooide von *Fredericella sultana* (linke Bildhälfte) und *Paludicella articulata* (rechte Bildhälfte, Austrittsstelle des Polypids subterminal); **e**: *Cristatella mucedo*; **f**: *Lophopus crystallinus*; **g**: *Plumatella fungosa*; **h**: *P. emarginata* – Flottoblasten einer Benthosprobe.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

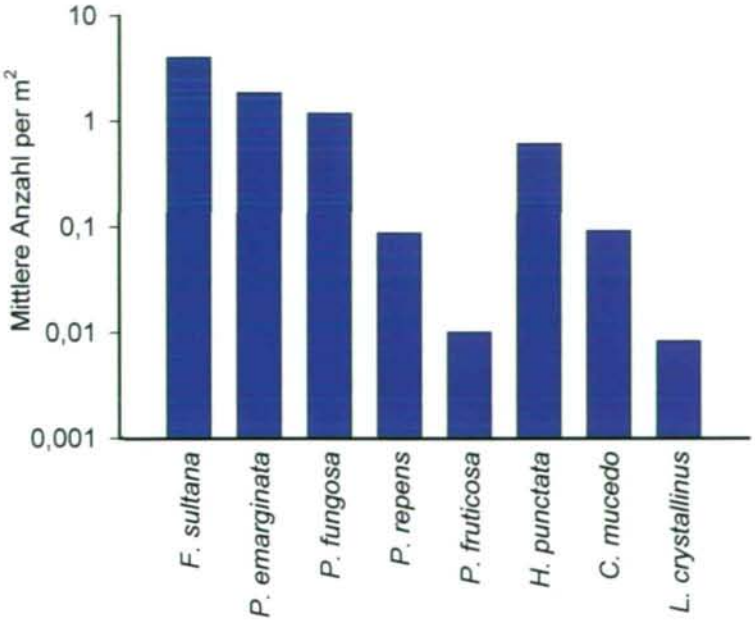


Abb. 13: Abundanz von Statoblastenvorkommen im Quertransekt bei Strkm1889,9: mittlere Gesamtzahl an Dauerstadienfunden (Piptoblasten, Flottoblasten und Sessoblasten) der Moostierarten aus der Klasse der Phylactolaemata.

zu werten (Abb. 10f). Würde die aus Kolonievorkommen resultierende Artenliste um die Anzahl der durch Statoblastenfunde erstellte Faunenliste ergänzt werden, wären 90 % des für Österreich bestätigten Artenspektrums an Moostieren (WÖSS 1996, 2005) in diesem Abschnitt der Donau erreicht. Allerdings ist nicht anzunehmen, dass alle durch Dauerstadienfunde belegten Arten in der freien Fließstrecke der Donau ein autochthones Vorkommen besitzen, vielmehr ist an einen Eintrag aus den Gewässern der angrenzenden Augebiete zu denken. Generell stellen Statoblastenfunde kein sicheres Indiz für ein mögliches Kolonievorkommen dar, da Dauerstadien, abgesehen durch strömungsbedingtes Verdriften, auch im Gefieder oder Darmkanal von Wasservögeln zu fremden Gewässern transportiert werden können.

Quantitative Beziehungen zwischen neun Attributen der Lebensgemeinschaft und sechs Umweltfaktoren

Die Lebensgemeinschaften des Makrozoobenthos an den vier Stellen wurde neben den Gesamtindividuendichten mit Hilfe von Eigenschaften beschrieben, die in drei Gruppen eingeteilt werden können: die Artenzusammensetzung, die räumliche Ressourcen-Nutzung sowie die räumliche und zeitliche Änderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaften.

Als grundlegendes Maß für die Artenzusammensetzung wurde der Artenreichtum, d.h. die Anzahl der gefundenen Arten, verwendet. Die „Evenness" ist ein Maß zwischen 0 und 1 für die Verteilung der einzelnen Individuen auf die verschiedenen Arten, wobei Werte nahe 0 bedeuten, dass eine oder wenige Arten in der Gemeinschaft dominieren, während eine völlig gleichmäßige Verteilung der Individuen auf die Arten einen Wert von 1 ergibt. Der gebräuchliche Shannon-Wiener-Index kombiniert als Diversitätsmaß den Artenreichtum und die Evenness, wobei höhere Werte eine höhere Biodiversität bedeuten.

Die Nutzung der Ressource „Raum" durch eine Art wurde mit der Ressourcen-Breite gemessen, die den Anteil an den verfügbaren Ressource-Zuständen, der von einer Art genutzt wird, angibt. Im vorliegenden Fall würde ein Wert von 1 eine gleichmäßige Verteilung der Individuen einer Art auf alle Proben bedeuten. Die Ressource-Überlappung ist ein Maß für die gemeinsame Nutzung einer Ressource (hier Raum) zweier Arten. Auch diese Maßzahl schwankt zwischen 0 (Nutzung verschiedener Ressource-Zustände) und 1 (völlig gleiche Nutzung der Ressourcen). Die Aggregation gibt an, wie stark eine Art räumlich geklumpt vorkommt (0 = zufällige Verteilung im Raum; 1 = vollkommene Aggregation).

Die zeitlichen Schwankungen in der Artenzusammensetzung von einem Termin zum nächsten, die Persistenz, wurde durch einen Rang-Korrelationskoeffizienten bestimmt, wobei 1 eine gänzlich unveränderte Gemeinschaftsstruktur hinsichtlich der Abundanzreihenfolge bedeutet. Die β-Diversität beschreibt demgegenüber die räumliche Gleichheit oder Verschiedenartigkeit der Artenzusammensetzung an verschiedenen Punkten innerhalb einer untersuchten Stelle.

Diese Charakteristika der Lebensgemeinschaften wurden unter Verwendung einer Redundancy Analysis (RDA) mit den ausgewählten Umweltparametern Wassertemperatur, Strömungsgeschwindigkeit, mittlere Korngröße des Sediments, Heterogenität des Sediments (Unterschiedlichkeit der Korngrößen), Lückenraumvolumen und Sedimentumlagerung in Beziehung gesetzt.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die ersten beiden Faktoren (= Achsen, Abb. 14) des resultierenden Modells, die als Gruppenvariablen für die Umweltvariablen angesehen werden können, erklären 80 % der Beziehung zwischen den Attributen der Gemeinschaften und den Umweltvariablen. Die erste Achse ist mit der Sedimentumlagerung zwischen aufeinander folgenden Terminen, die zweite Achse mit der Sedimentbeschaffenheit (Korngröße, Heterogenität und Lückenraum) korreliert.

Aus den Beziehungen zwischen den Lebensgemeinschaften und den Umweltvariablen zeigt sich, dass eine verstärkte Sedimentumlagerung, also eine instabilere Umwelt mit einer Verringerung des Artenreichtums und einer geringeren Persistenz der Gemeinschaft, sowie einer erhöhten räumlichen Aggregation der einzelnen Arten einhergeht (Abb. 14). Letztere nimmt auch mit steigender Heterogenität des Sediments zu. Höhere Strömungsgeschwindigkeiten gehen ebenfalls mit einer Abnahme des Artenreichtums einher, während die Gesamtindividuendichten mit erhöhter Sedimentumlagerung und größerem Lückenraum abnehmen.

Die Beziehung zwischen den Parametern der Artenzusammensetzung weist darauf hin, dass die Biodiversität zum Großteil eher von der Evenness als vom Artenreichtum bestimmt wurde. Dieser Umstand wird zumeist als ein Indiz für die Sättigung einer Lebensgemeinschaft angesehen. Durch eine Abnahme der Biodiversität und der Individuendichten bei erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten, zusammen mit verstärkter Sedimentumlagerung, verringert sich die räumliche Verteilung der einzelnen Arten und resultiert in einer Verringerung der Ressourcen-Überlappung der Arten, d.h. der gemeinsamen Nutzung des gleichen Raumes.

Biodiversität als Indikator für die Wasserqualität

Mittels der angeführten diversen Fauna der Freien Fließstrecke der Donau unterhalb Wiens und ihrer absoluten Häufigkeiten ist die Berechnung einer Reihe von Indices möglich, die eine Aussage über die Wasserqualität dieser Flussstrecke zulassen. Ein Vergleich der Werte, die die Berechnung von neun unterschiedlichen Indices auf der Basis der Artenzusammensetzung ergeben hat, zeigt eine relativ gute Übereinstimmung (Tab. 6; MOOG et al. 2000).

Der Index nach Zelinka & Marvan schwankt zeitlich zwischen 1,68 und 2,06 und räumlich zwischen 1,75 und 2,11, was hauptsächlich β-mesosaprobe Verhältnisse (oder eine Wasserqualität von II) bedeutet. Der Pantle-Buck-Index indiziert eine Wasserqualität von II, der Trent Biotic Index, der Extended Biotic Index und der Indice Biotique schwanken zeitlich zwischen einer Wasserqualität von I und I-II und räumlich zwischen einer von I bis II-III. Der Makroindex, der keine Entsprechung in der Charakterisierung der Wasserqualitätsklassen hat, schwankt zwischen 5 und 6, wobei 1 der beste und 8 der schlechteste Wert für die Wasserqualität ist. Die Werte nach BMWP, BMWP/ASPT und der Lincoln Quality Index variieren zeitlich und räumlich zwischen einer Wasserqualität von I bis II-III. Letztere Unterschiede sind eher aus den unterschiedlichen hydrologischen Gegebenheiten denn durch die Wasserqualität an sich erklärbar, denn die geringere Anzahl

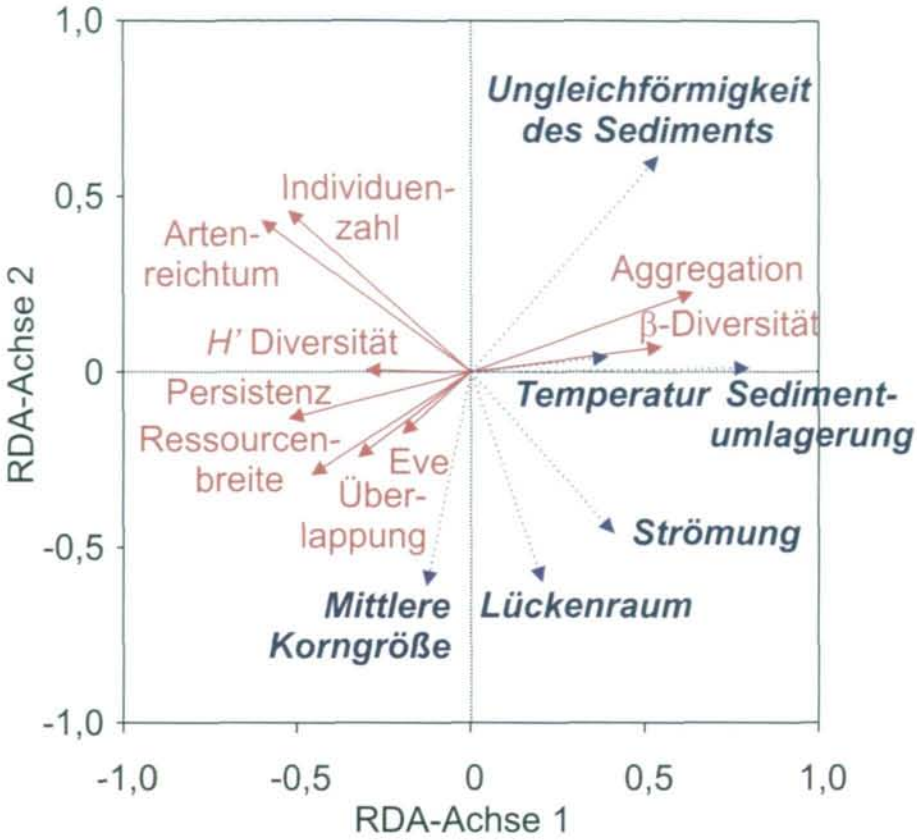


Abb. 14: Biplot als Ergebnis einer Redundancy Analysis (RDA) zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen neun Eigenschaften der Lebensgemeinschaften und sechs ausgewählten Umweltvariablen. Der Ursprung der Abbildung gibt die mittlere Ausprägung der Variablen an. Pfeile, die in die gleiche Richtung weisen, bedeuten eine positive Korrelation der entsprechenden Variablen, solche, die in entgegengesetzte Richtungen zeigen, negative Beziehungen. Pfeile, die annähernd normal aufeinander stehen, entsprechen unkorrelierten Variablen (Adaptiert von Fig. 4 in FESL & HUMPESCH 2005). Eve = Evenness.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 6: Gewässergüte der Freien Fließstrecke der Donau unterhalb Wiens, angegeben sind die Werte der unterschiedlichen Indices; korrespondierende Güteklassen in Klammer; ZaM = Zelinka & Marvan-Saprobienindex; PaB = Pantle-Buck- Index; TBI = Trent Biotic Index; EBI = Extended Biotic Index; IB = Indice Biotique; MI = Makroindex; BMWP = Biological Monitoring Working Party; BMWP/ASPT = Biological Monitoring Working Party/ Average Score per Taxon; LQI = Lincoln Quality Index (MOOG et al. 2000).

(a) Zeitliche Unterschiede					
Index/Datum	**23 Jan**	**6 Apr**	**5 Jul**	**1 Okt**	**Gesamt**
ZaM	1,68 (I-II)	2,06 (II)	1,95 (II)	2,00 (II)	1,96 (II)
PaB	2,09 (II)	2,10 (II)	2,11 (II)	2,14 (II)	2,11 (II)
TBI	9 (I-II)	9 (I-II)	9 (I-II)	9 (I-II)	9 (I-II)
EBI	11 (I)	11 (I)	11 (I)	11 (I)	12 (I)
IB	9 (I-II)	9 (I-II)	8 (II)	9 (I-II)	10 (I)
MI	5	6	5	5	5
BMWP	70 (II-III)	77 (II-III)	94 (II-III)	80 (II-III)	114 (II)
BMWP/ASPT	5,38 (II-III)	5,13 (II-III)	5,88 (II)	5,71 (II)	6,00 (II)
LQI	5,5 (I-II)	5,5 (I-II)	6 (II)	5,5 (I-II)	6,5 (I)
(b) Räumliche Unterschiede					
Index/Entnahmestelle in m vom rechten Ufer	30	100	200	250	Gesamt
ZaM	2,11 (II)	1,91 (II)	1,75 (I-II)	1,85 (II)	1,96 (II)
PaB	2,12 (II)	1,99 (II)	2,07 (II)	2,11 (II)	2,11 (II)
TBI	9 (I-II)	8 (II)	7 (II)	9 (I-II)	9 (I-II)
EBI	11-10 (I)	8 (II)	10 (I)	12 (I)	12 (I)
IB	9 (I-II)	7 (II)	6 (II-III)	10 (I)	10 (I)
MI	5	6	5	5	5
BMWP	76 (II-III)	38 (III)	31 (III)	111 (II)	114 (II)
BMWP/ASPT	4,75 (II-III)	4,75 (II-III)	3,44 (III)	6,17 (II)	6,00 (II)
LQI	5 (II)	4,5 (II)	3 (III)	6,5 (I)	6,5 (I)

der Arten und Individuen an einigen Entnahmestellen, die Grund für eine schlechtere Indizierung sind, ergeben sich eher aus der dort höheren Strömungsgeschwindigkeit und daher dort größeren Umlagerung der Stromsohle (siehe dazu das vorherige Kapitel). Eine zweite Schlussfolgerung dieser Ergebnisse ist, dass die Indizes, die auf der Zusammensetzung von Arten basieren, ein wirklichkeitsgetreueres Bild der Wasserqualität wiedergeben, als die, bei denen für die Analysen ausschließlich höhere taxonomische Niveaus zum Tragen kommen.

Die Fauna der oberflächlichen 0-10 cm und des tieferen Hyporheons

Die Aussagen des Makrozoobenthos im angeführten Querprofil bezogen sich auf die Fauna der ersten 10 Zentimeter der Stromsohle. In den meisten Bächen und Flüssen wird aber auch eine Besiedlung tieferliegender Sedimente, besammelt mittels entsprechender Methoden (siehe dazu „Gefriercorer"), festgestellt (z.B. HUMPESCH et al. 2002). Diese Zone wird als Hyporheon bezeichnet. Letzteres wird u.a. vom Makrozoobenthos dann besiedelt, wenn die Raumverhältnisse und andere Umweltbedingungen, wie z.B. sauerstoffreiches Wasser, es erlauben. Frühe Entwicklungsstadien von sonst an der Oberfläche der Stromsohle lebenden Arten bevorzugen diesen Lebensraum. Letzteres spiegelt sich in den großen saisonalen Schwankungen in Bezug auf Anzahl, Verbreitung und Vorkommen der Tiere wider. Unabhängig davon gibt es Arten, die ausschließlich in diesem Lebensraum vorkommen, die sog. hyporheische Fauna, und die auf Grund verschiedener Anpassung dort ihren gesamten Lebenszyklus durchlaufen können. Zu dieser Fauna gehören u.a. Vertreter der Crustaceen, Oligochaten und Hydracarinen.

Einer der größten Vorteile im Hyporheon zu leben ist, dass dort lebensfeindliche Umweltbedingungen, wie Hochwässer oder Austrocknung, überdauert werden können. Nach z.T. katastrophalen Hochwässern in der Donau, die die Oberflächenfauna z.T. total eliminieren, kann von der Fauna, die in tieferen Sedimenten diese Zeit verbracht hat, eine Wiederbesiedlung der Oberflächensedimente ausgehen. Demnach kann das Hyporheon als Ökoton zwischen Oberflächen- und Grundwasser angesehen werden.

Ist Biodiversität von Bedeutung?

Obwohl die Beziehungen zwischen der Biodiversität und der Funktion bzw. Stabilität von Ökosystemen nach wie vor unklar sind, sprechen drei Argumente für die Bedeutung der Biodiversität:

- zunächst das „moralische" Argument, das besagt „wir sind nur zeitliche Gäste des Erdplaneten und deshalb haben wir die Pflicht diesen Lebensraum den nachfolgenden Generationen in annähernd dem Zustand zu übergeben, in dem wir ihn vorgefunden haben";
- dann das Argument der „Balance in der Natur": es gibt un- und vorhersehbare Folgen hervorgerufen durch den Verlust der Biodiversität, einige dieser Folgen können sich sehr nachteilig auf den Menschen auswirken – die Auslöschung von Schlüsselarten kann zu einer kompletten Änderung der Struktur einer Lebensgemeinschaft führen;

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

- letztlich das „Ressourcenargument": Pflanzen und Tiere stellen ein großes genetischen Reservoir dar, das angepasst für die Landwirtschaft, die Industrie und die Medizin nutzbar gemacht werden kann.

Die Rolle vieler Arten in einer Lebensgemeinschaft, besonders die der seltenen Arten, ist zum großen Teil nicht bekannt und hat zu der Theorie geführt, dass es „überzählige" Arten gibt, die ähnliche Aufgaben im Ökosystem haben, wie andere Arten. Diese ähnlichen Arten erfüllen möglicherweise doch wichtige Aufgaben, je nachdem in welchem Zustand sich das Ökosystem befindet. Anstatt sich auf einzelne Arten und deren Erhalt zu konzentrieren, scheint der erfolgreichere Ansatz zu sein, die Lebensräume, in denen diese Arten vorkommen, zu erhalten. Letzteres auch deshalb, weil der Nutzen vieler Arten für den Menschen oft nicht ersichtlich ist. Die Umkehrung dieses Standpunktes könnte sein: „Welcher Lebensraum ist es nicht Wert erhalten zu werden"?

Schlussbemerkungen

Der österreichische Teil der Donau, mit seinem alpinen Charakter, enthält nur mehr zwei Freie Fließstrecken – das Gebiet der Wachau und der Teil unterhalb des Kraftwerkes Freudenau bis Stromkilometer 1874. Letztere Strecke wird von 310 Arten des Makrozoobenthos besiedelt, von denen nur 58 Arten ausschließlich dort gefunden wurden. Für den Erhalt der selteneren Arten ist der ihres Lebensraumes von fundamentaler Bedeutung; es ist deshalb notwendig, die ungestaute Strecke unterhalb Wien als solche zu erhalten. Letzteres auch deshalb, weil der Strom dort direkt mit seinen Augewässern verbunden ist, so dass ein Faunenaustausch zwischen Haupt- und Augewässer stattfinden und dort zu einer wesentlichen Zunahme der Biodiversität führen kann.

Die ökologischen Beziehungen zwischen eingewanderten und ursprünglichen Arten sind im Wesentlichen nicht bekannt, daher kann keine Aussage darüber gemacht werden in welcher Form die eingewanderten Arten die gegenwärtigen Lebensgemeinschaften des Makrozoobenthos beeinflussen werden.

Danksagung: Für die finanzielle Unterstützung, z.B. die Wissenschafts- und Forschungsförderung der Gemeinde Wien, Kulturabteilung, für diese Arbeiten und die Mitarbeit einer Reihe von Kolleginnen und Kollegen ist in den hier zitierten Arbeiten gedankt worden. Besonders möchten wir uns bei Herrn Richard Niederreiter/Mondsee/O.Ö (www.uwitec.at) für die Unterstützung bei der Entwicklung der Sammelgeräte bedanken.

Literatur

BAUERNFEIND E. & U.H. HUMPESCH (2001): Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. — Verlag des Naturhistorischen Museums Wien: 1-239.

DICK J.T.A. & D. PLATVOET (2000): Invading predatory crustacean *Dikerogammarus villosus* eliminates both native and exotic species. — Proc. Roy. Soc., Series B **267**: 977-983.

FESL C. (2002): Biodiversity and resource use of larval chironomids in relation to environmental factor in a large river. — Freshw. Biol. **7**: 1065-1087.

FESL C. & U.H. HUMPESCH (2003): Community structure and resource use of oligochaetes (Annelida) in relation to hydrophysical factors in a large river. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **147**, Large Rivers **14**: 307–326.

FESL C. & U.H. HUMPESCH (2005): Spatio-temporal variability of benthic community structure and resource utilisation patterns in relation to environmental factors in a large river. — Arch. Hydrobiol., Suppl., Large Rivers: im Druck.

FESL C., HUMPESCH U.H. & A. ASCHAUER (1999): The relationship between habitat structure and biodiversity of the macrozoobenthos in the free-flowing section of the Danube in Austria – east of Vienna (preliminary results). — Arch. Hydrobiol., Suppl. **115**, Large Rivers **11**: 349-374.

FRANK C. & P.L. REISCHÜTZ (1994): Rote Liste gefährdeter Weichtiere Österreichs (Mollusca: Gastropoda und Bivalvia). — In: GEPP J. (Hrsg.): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. Styria Medienservice, Graz: 283-316.

GEPP J. (Hrsg.; 1994): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. — Styria Medienservice, Graz: 1-355.

HUMPESCH U.H. (1992): Ecosystem study Altenwörth: impacts of a hydroelectric power-station on the River Danube in Austria. — Freshwater Forum **1**: 33-58.

HUMPESCH U.H. & J.M. ELLIOTT (Eds.; 1990): Methods of biological sampling in a large deep river – the Danube in Austria. — Wasser und Abwasser, Suppl. **2**: 1-83.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

HUMPESCH U.H. & R. NIEDERREITER (1993): Freeze-core method for sampling the vertical distribution of the macrozoobenthos in the main channel of a large deep river, The River Danube at river kilometre 1889. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **101**, Large Rivers **9**: 87-90.

HUMPESCH U.H., FESL C. & H. RÜGER (2002): The effect of riverbed management on the habitat structure and macroinvertebrate community of a ninth order river, the Danube in Austria. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **14**, Large Rivers **13**: 29-46.

ILLIES J. & L. BOTOSANEANU (1963): Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des aux courantes, considérées surtout du pont de vue faunistique. — Verh. intern. Verein. theor. angew. Limnol. **12**: 1-57.

LIEPOLT R. (1967): *Limnologie der Donau*. — E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart **V**: 4-69.

MALICKY H. (1994): Rote Liste der gefährdeten Köcherfliegen Österreichs (Trichoptera). In: GEPP J. (Hrsg.): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. Styria Medienservice, Graz: 207-214.

MOOG O., HUMPESCH U.H. & M. KONAR (1995): The distribution of benthic invertebrates along the Austrian stretch of the River Danube and its relevance as an indicator of zoogeographical and water quality patterns – part 1. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **101**, Large Rivers **9**: 121-213.

MOOG O., BRUNNER S., HUMPESCH U.H. & A. SCHMIDT-KLOIBER (2000): The distribution of benthic invertebrates along the Austrian stretch of the River Danube and its relevance as an indicator of zoogeographical and water quality patterns – part 2. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **115**, Large Rivers **11**: 473-509.

MÜLLER J. C., SCHRAMM S. & A. SEITZ (2002): Genetic and morphological differentiation of *Dikerogammarus* invaders and their invasion history in Central Europe. — Freshw. Biol. **47**: 2039–2048.

Oxbow River & Stream Restoration, Inc. (2003): www.oxbowriver.com / Web_Pages / Stream_Ecology_Pages / Ecology_Riparian / Ecology_RCC.html.

PÉCSI T. & B. ERDELICS (1970): *Palúdicella articulata* EHRENBERG (Bryozoa, Ectoprocta) and *Urnatella gracilis* LEIDY (Kamptozoa), new for the Hungarian reach of the Danube. — Arch. Hydrobiol./Suppl. **XXXVI** (Donauforschung **IV**) 2/3: 293-298.

PEHOFER H.E. (1998): A new quantitative air-lift sampler for collecting invertebrates designed for operation in deep, fast-flowing gravelbed rivers. — Arch. Hydrobiol., Suppl. **115**, Large Rivers **11**: 213-232.

PÖCKL M., WEBB B.W. & D.W. SUTCLIFFE (2003): Life history and reproductive capacity of *Gammarus fossarum* and *G. roeseli* (Crustacea: Amphipoda) under naturally fluctuating water temperatures: a simulation study. — Freshw. Biol. **48**: 53-66.

RYLAND J.S. (1970): *Bryozoans*. — *Hutchinson Univ.* Library. London: 1-175.

TITTIZER T. (1997): Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den europäischen Wasserstraßen, erläutert am Beispiel des Main-Donau-Kanals. — In: KAVKA G. (Hrsg.): Güteentwicklung der Donau – Rückblick und Perspektiven. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft **4**: 113-134.

VANOTTE R. L., MINSHALL G.W., CUMMINGS K.W., SEDELL J.R. & C.E. CUSHING (1980): The river continuum concept. — Canad. J. Fisheries Aquat. Sci. **37**: 130-137.

WIEBACH F. (1960): Bryozoa, Moostierchen. — In: BROHMER P., EHRMANN P. & G. ULMER (Hrsg.): Die Tierwelt Mitteleuropas, Leipzig **1**(8): 1-56.

WÖSS E.R. (1996): Life-history variation in freshwater bryozoans. — In: GORDON D.P., SMITH A.M. & J.A. GRANT-MACKIE (Eds.): Bryozoans in Space and Time. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. Wellington, New Zealand: 391-399.

WÖSS E.R. (2005): The distribution of freshwater bryozoans in Austria. — In: MOYANO G.H.I., CANCINO J.M. & P.N. WYSE JACKSON (Eds.): Bryozoan Studies 2004. A.A. Balkema Publishers, Leiden, London, New York, Philadelphia, Singapore: 369-374.

Anschrift der Autoren:

Mag. Dr. Christian FESL
Department of Freshwater Ecology
University of Vienna
Althanstrasse 14
A-1090 Vienna, Austria
E-Mail: christian.fesl@univie.ac.at

Univ.-Prof. Mag. Dr. Uwe H. HUMPESCH
Institute of Limnology of the Austrian
Academy of Sciences
Mondseestrasse 9
A-5310 Mondsee, Austria
E-Mail: uwe.humpesch@oeaw.ac.at

Mag. Dr. Emmy R. WÖSS
Department of Freshwater Ecology
University of Vienna
Althanstrasse 14
A-1090 Wien, Austria
E-Mail: emmy.woess@univie.ac.at